

NUEVA SEDE DE BBVA, EN MADRID

ESTRUCTURAS SINGULARES

La nueva sede de BBVA está formada por dos fases diferenciadas, tanto en el proceso de ejecución como en el plazo de terminación. Ambas fases configuran el centro completo, en el que destaca su edificio vertical, bautizado como La Vela.

texto Vicente Rubio (Arquitecto Técnico)

fotos Equipo de obra

La Fase I es el resultado de la reorganización y reconstrucción de un conjunto de inmuebles existentes, que se han adaptado para formar un nuevo edificio. Estas obras, en las que se ha mantenido parte de la estructura existente, han consistido en demoliciones complejas, con recortes en los forjados, para generar calles interiores o zonas cubiertas diáfanas de gran altura en un solo conjunto de marcado carácter lineal y geometría prismática de poca altura. Los volúmenes resultantes se han adaptado mediante losas horizontales e inclinadas de hormigón armado, vigas postesadas de altas prestaciones y vigas invertidas postesadas, que completan y saturan las estructuras, dando la configuración final e integrándose en el conjunto. Esta adaptación, considerada como una rehabilitación estructural a gran escala, derivó en soluciones especialmente diseñadas para resolver conexiones de estructuras nuevas con otras existentes (ménsulas metálicas de apoyo a media madera ancladas a forjados preexistentes, pasadores tipo crot, soldaduras, etc.) y para reforzar dichas estructuras por cambios de uso

o de configuración (con recrecidos de microhormigón o adhesión de bandas de fibra de carbono).

La Fase I, operativa desde el mes de mayo de 2013, consta de tres plantas sobre rasante, destinadas a oficinas y restauración. Bajo rasante tiene dos plantas para aparcamiento y cuartos técnicos. Existen calles ajardinadas con pavimento adoquinado de piedra caliza, denominada "piedra portuguesa", y acequias con circulación de agua.

Todos los elementos estructurales son de hormigón armado y los recortes de hormigón se han recubierto, para su acabado final, de microhormigón visto ejecutado mediante encofrado metálico. Los forjados son de losa maciza armada de distintos cantos, bien con soportes de hormigón o bien soportados por apoyos especiales con y sin crests de alta resistencia. El cerramiento de fachada es un sistema modular mixto, compuesto por una estructura portante de aluminio/acero lacado en polvo de poliéster, con un doble acristalamiento con vidrios de altas prestaciones, vidrio monolítico 6+6 mm, cámara de argón y doble vidrio laminar 8+8 mm. En su cerramiento exterior dispone de lamas fijas de dimensiones variables, con orientación en función del

ASIMETRÍA

El edificio vertical, conocido como La Vela, tiene 19 plantas sobre rasante y presenta una forma de disco asimétrico que se trunca en la base.





La obra, paso a paso



- 1 Fase I. Las obras de adaptación consistieron en demoliciones complejas, con recortes en los forjados existentes, para generar calles interiores y zonas cubiertas diáfnas.



- 2 Fase II. Encuentro del postesado de la losa de 10,10 m de luz con el longitudinal de una viga upstand.



- 3 Fase II. Pasarelas peatonales entre *fingers*. Existen cuatro por planta y su construcción fue independiente a la de los *fingers*.



- 4 Fase II. Pilares de la fachada sur del edificio vertical y losa tapa de la sala de prensa, ubicada en este inmueble.



PROCESO DE EJECUCIÓN DE LA FASE I

La nueva configuración arquitectónica da lugar a nuevos elementos estructurales y también implica el refuerzo de los existentes.

➤ soleamiento, que cambian de posición según la fachada correspondiente. Son elementos con estructura portante metálica, recubierta de poliéster reforzado con fibra de vidrio, lacada en blanco. La Fase II, de nueva obra, se describe en base a tres estructuras intercomunicadas: el edificio horizontal, el vertical -La Vela- y la plaza circular. Cada una de estas estructuras ha requerido tipologías y soluciones diferentes.

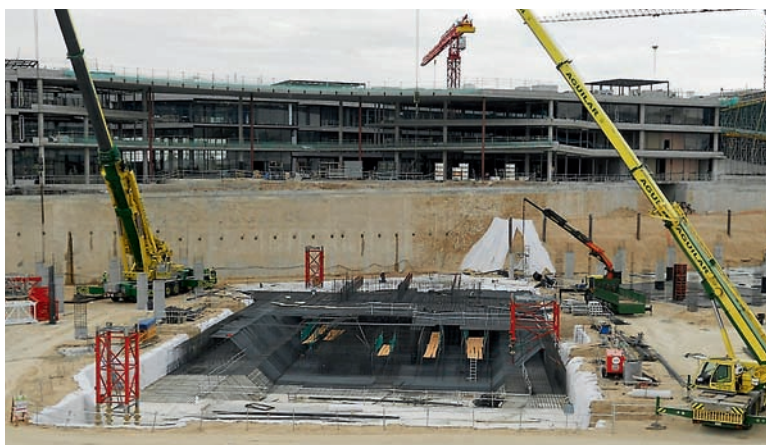
Fase II. Esta edificación, de obra nueva, viene a completar la Fase I, formando la configuración final del conjunto. Se compone del edificio horizontal y del edificio vertical, llamado La Vela. El edificio horizontal, formado por cuatro *fingers* y calles ajardinadas con

pasarelas transversales de comunicación, tiene tres plantas sobre rasante para oficinas y otras tres bajo rasante, para garaje. Aquí se ubica un auditorio con un aforo de 400 personas. Su cerramiento exterior es igual al de la Fase I. La cimentación está formada por zapatas de hormigón armado de distintas dimensiones, existiendo un cerramiento perimetral del bajo rasante formado por muro pantalla con bataches de dimensiones 500 cm y espesor 45 cm con sus anclajes correspondientes. Los *fingers* están compuestos por losas macizas de hormigón armado bajo rasante, cuyo espesor oscila entre 0,30 y 0,50 m en función de las cargas que vayan a soportar. Estas losas se apoyan en una retícula de pilares más o menos



TESADO LONGITUDINAL

Operación de tesado longitudinal de la planta 1ª mediante tendones para la compensación de tracciones.



FASE I

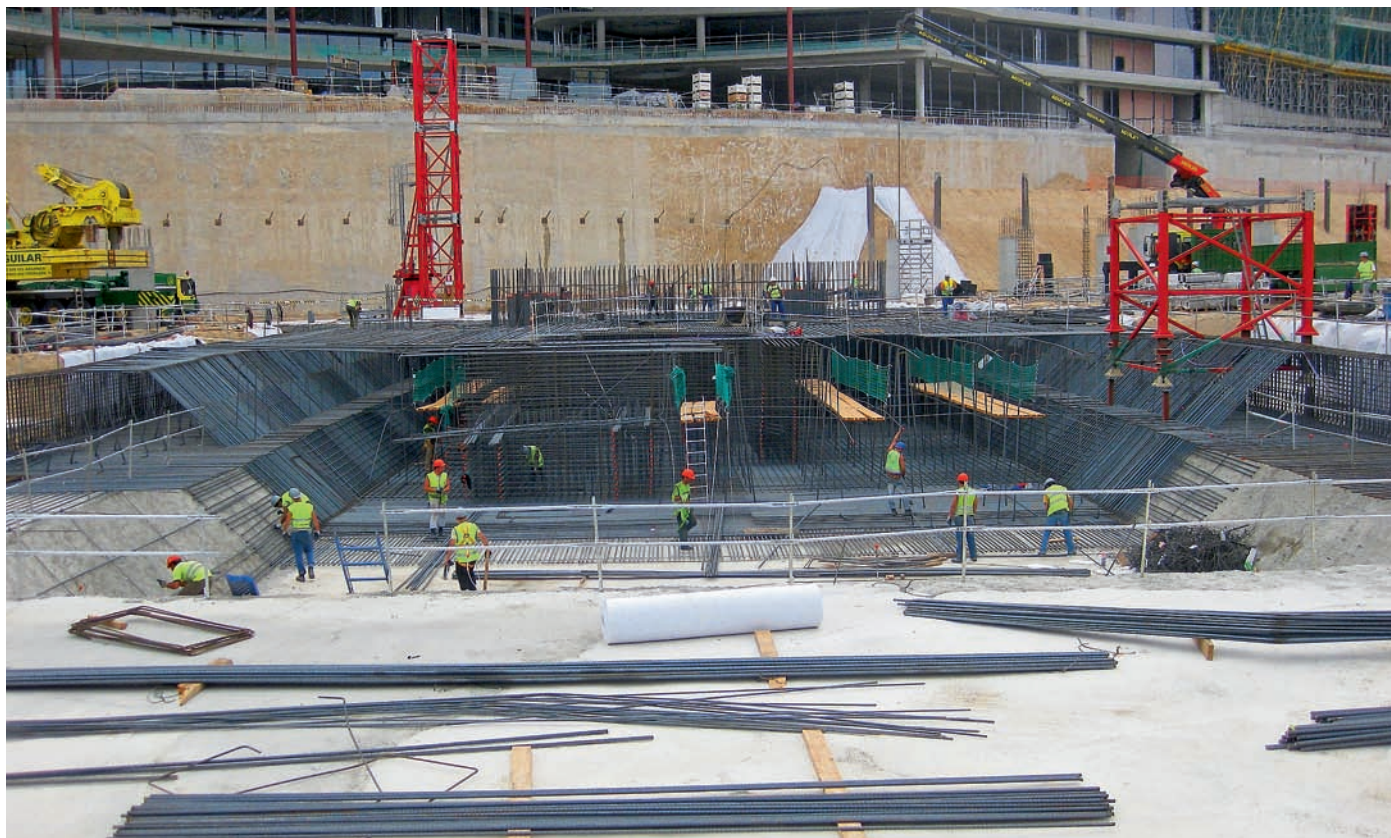
Armado de la losa de cimentación.

SE DISEÑARON MULTITUD DE ESTRUCTURAS AUXILIARES ESPECÍFICAMENTE PARA ESTA OBRA

uniforme, cuya luz máxima llega a 10 m. La configuración sobre rasante cambia sensiblemente. El esquema estructural transversal de cada uno de los *fingers* se ha resuelto mediante una losa maciza (postesada en su vano mayor, de 10,10 m de luz) de 0,28 m de canto en las plantas 1ª y 2ª; en la cubierta, donde las sobrecargas para equipos de instalaciones son mayores, se ha resuelto con un espesor de 0,35 m. El esquema longitudinal consiste en una serie de vigas postesadas, de forma que las vigas situadas en las fachadas tienen un canto total invertido de 0,875 m en plantas 1ª y 2ª, y 1,10 m en planta cubierta. La viga central tiene un canto total descolgado de 0,63 m en las plantas 1ª y 2ª y de 0,70 m en la planta cubierta.

La estructura vertical se compone de pilares de hormigón armado, elípticos en su mayoría, y de núcleos de comunicación (albergan escaleras, ascensores y patinillos de instalaciones) del mismo material. Entre los *fingers* existen cuatro pasarelas de comunicación por planta, de construcción independiente a la de los *fingers*, por lo que se definieron entre juntas de dilatación. Las pasarelas situadas en las plantas 1ª y 2ª cuelgan mediante una serie de tirantes metálicos desde la planta cubierta, que consta de dos vigas postesadas de canto 1,10 m. También existe otro tipo de pasarelas entre *fingers*, destinadas a soportar las lamas de las fachadas sur y norte, en las que una lámina de hormigón armado ubicada en planta 2ª cuelga mediante tirantes de una única viga invertida de planta cubierta (cada tirante quedará oculto detrás de una lama de fachada).

Los *fingers* que discurren en dirección sur-norte se funden en el noroeste en un único volumen que alberga el au- ➤



GRACIAS AL TRABAJO
DEL LABORATORIO DE
ENSAYOS DE PROBETAS
SE CONSIGUIÓ POSTESAR
EN 48 HORAS



LOSA DE CIMENTACIÓN

Arriba y a la izquierda, armado de la losa de cimentación (a nivel sótano -1) en la zona del cambio de canto de 4 a 2 m.

➤ ditorio, de planta con forma de elipse deformada, asimétrica (de ejes 30 y 20 m), cuyo suelo y techo coinciden con planta 1ª y cubierta respectivamente. Sus forjados son losas postesadas aligeradas reticulares, de 80 y 60 cm de canto, y su cierre lateral, un muro de hormigón armado de casi 9 m de altura. Estos muros se soportan en pilares separados entre sí hasta 19 m, de forma que actúan como vigas de gran canto. En el recorte del edificio horizontal se genera una gran plaza, de unos 100 m de diámetro, alrededor de la cual se disponen ocho escaleras helicoidales que comunican la planta baja con la planta segunda en el entorno de dicha plaza. Estas escaleras helicoidales, de hormigón armado no aligerado, tienen su cara inferior continua, por lo que llegan a tener, en la zona central de su tramo, casi 1 m de espesor.

El edificio vertical, conocido como La Vela, cuenta con 19 plantas principales

sobre rasante, dedicadas a oficinas, y tres bajo rasante, para instalaciones. También dispone de una sala de prensa y dos grandes aljibes. Su altura desde la plaza es de 93 m. Este edificio "tipo pantalla" tiene un alzado con forma de disco asimétrico o elipse ligeramente deformada que se trunca en la base (a nivel sótano -1).

De orientación norte-sur, cuenta con dos caras opacas curvas construidas en hormigón armado de espesor variable, visto en la mayor parte de su superficie -hacia el interior y en los cantos- y forrado de acero inoxidable en su cara exterior, y otras dos planas de fachada acristalada con montantes y travesaños. Las fachadas norte y sur constan de voladizos, destacando en dimensión la de la cara Sur para proteger del soleamiento directo. Las plantas son rectangulares de ancho constante 16 m y longitud variable en función de la altura a la que se sitúe, entre 82 m en la parte más ancha (plantas 7ª y 8ª) y 37,5 m en

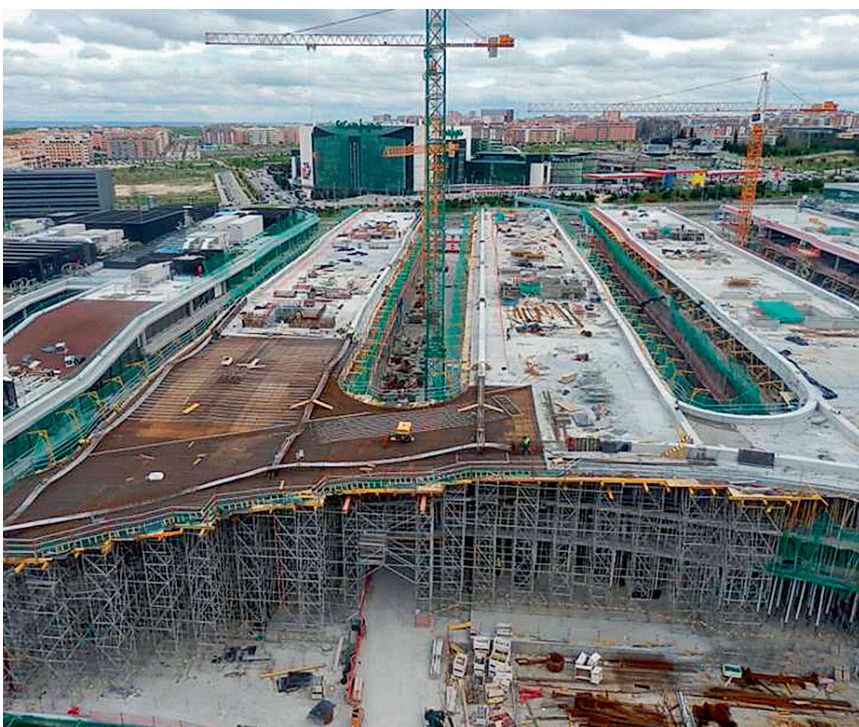


ENCOFRADO EDIFICIO VERTICAL

Sistema de encofrado autotrepante del lado Norte.

AUDITORIO

Ejecución de la cubierta del Auditorio.



ESTRUCTURAS AUXILIARES FASE II

Cimbra aporticada para permitir el paso de maquinarias de obra por la calle entre fingers, para ejecución de los mismos y de la zona sur de la plaza.

la más estrecha (truncamiento inferior de la corona de la elipse deformada).

Losa de cimentación. El terreno que se sitúa por debajo del edificio, una vez superado el estrato de rellenos antrópicos, presenta una compacidad densa a muy densa y una tensión admisible de 0,45 MPa. Por ello, se ha optado por una solución de cimentación directa mediante losa de hormigón armado, de canto variable, de 4 m en la zona central donde arranca el núcleo rígido de la torre y 2 m en el perímetro. El cambio de sección se produce fuera de la proyección en planta de la base de la torre, mediante un quiebro a 45°, que permite adaptar y anclar el armado inferior de la sección de ambos cantos de manera suave sin generar conflictos constructivos o acumulaciones de tensiones por cambios bruscos de sección. La zona central se hormigonó en dos etapas, de 2 m de espesor cada una. El hecho de que la losa tenga un canto de grandes proporciones y que, además, esté rigidizada por los muros longitudinales y transversales que soportan el anillo, hace que su comportamiento sea el de una gran zapata rígida. El núcleo rígido es un conjunto de muros de hormigón armado, de espesores entre 25 y 50 cm, que se combinan formando una sección similar a un rectángulo que tiene sus lados largos ligeramente curvados. El núcleo central es un núcleo de comunicaciones vertical, donde se albergan baterías de ascensores, una escalera continua principal y unos patinillos de instalaciones. El anillo exterior lo forma una envolvente en los testeros Este y Oeste, de muros curvos de hormigón de espesor variable, que se cierran en cubierta formando una bóveda. El espesor de estos muros curvos es decreciente, desde 1,90 m hasta 0,37 m. Este último espesor se mantiene constante en la bóveda asimétrica que corona sobre la altura de nivel planta 21ª.

Los forjados del edificio vertical se realizan con losas de hormigón postesado aligerado, eminentemente unidireccionales, de 35 cm de canto, excepto en los voladizos donde el espesor se reduce a 30 o 25 cm. Estas losas, de ➤



ENCOFRADO TREPANTE MURO EXTERIOR

Vista del proceso de trepado en muros exteriores del edificio La Vela.



ESCALERAS HELICOIDALES DE LA FASE II

Estas escaleras, de hormigón armado no aligerado, tienen su cara inferior continua por lo que, en la zona central de su tramo, llegan a tener casi 1 m de espesor.

El proyecto en cifras

La Vela mide **93 m** de alto

La plaza circular tiene un diámetro de **100 m**

7 edificios
de 3 alturas conforman la Ciudad BBVA

114.000 m²
destinados a oficinas y servicios

3.000 plazas de
aparcamiento

6.000 es el número
de empleados que trabajarán aquí

➤ 16 m de ancho constante, apoyan en el núcleo rígido central, en los muros curvos extremos y en dos hileras de pilares de fachadas (norte y sur). Estos forjados, además de esa única crujía de 12 m de luz, presentan voladizos al norte y al sur de distinta dimensión. Existen unos niveles de plantas técnicas -20ª y 21ª-, destinadas a instalaciones y maquinarias, que no van de “anillo a anillo”, sino que ocupan algo más que el ancho del núcleo de comu-



SISTEMA DE ENCOFRADO TREPANTE

Muros del anillo curvo trabajando como grandes bielas de hormigón, y forjados como tirante horizontales.

nicaciones. Estos dos últimos forjados se resolvieron con losas de hormigón armado no aligeradas, de 25 o 35 cm de espesor. La planta 20ª es una losa apoyada en el núcleo y sustentada en el extremo occidental por unos perfiles metálicos HEB que cuelgan de la cubierta o bóveda del anillo. Los pilares son de hormigón armado de dimensiones variables, desde 30 x 75 cm² en las plantas inferiores hasta 25 x 35 cm² en las superiores. Están muy

próximos entre sí, cada 2,4 m entre ejes, en dos hileras coincidentes con las fachadas norte y sur, hileras que distan la una de la otra 12 m.

Postesado longitudinal. La combinación de los muros del anillo en las plantas inferiores trabajando a compresión y recogidos mediante los forjados -trabajando a tracción desde el núcleo-, forma un sistema de barras a compresión (bielas), y barras a tracción (tirantes), que

POR SUS
DIMENSIONES,
LA BÓVEDA QUE
CORONA LA VELA
ES SEMEJANTE A
LAS REALIZADAS EN
OBRA CIVIL

funciona como dos grandes ménsulas en voladizo en los que pueden apearse los pilares que quedan fuera de la proyección de la base de la torre en el empostramiento. Según este sistema, el anillo sería una gran biela comprimida de hormigón que incrementa los esfuerzos en las plantas inferiores por la acumulación de las cargas de los pilares apeados, y los forjados serían unos tirantes horizontales. Para la absorción de las tracciones se planteó un postesado longitudinal mediante tendones de hasta 31 cordones, de 150 mm² de sección, dispuestos en las alineaciones norte y sur de los forjados de planta baja a 7ª. Este postesado garantiza que el hormigón de estos forjados se mantuviera comprimido para las comprobaciones de Estado Límite de Servicio, y que no se superara en ningún caso el valor del axil de fisuración en las comprobaciones de Estado Límite Último. Estas dos premisas aseguraron que el comportamiento, en cuanto a distribución de esfuerzos en función de las rigideces, no se viera alterado ya que, en cualquier caso, se mantendrían las secciones brutas.

Antes y después de cada paso relacionado con el hormigonado de un tramo del muro del anillo, ascenso de la trepa, hormigonado de forjado, tesado longitudinal, etc., se realizaba una medición topográfica de deformaciones para comprobar que las hipótesis de proyecto tuviesen su fiel reflejo con lo que se iba obteniendo en la obra.

Escaleras laterales. En el interior de La Vela existen dos escaleras laterales singulares -una sube hasta la planta 12 y la otra comunica todas las alturas-, de hormigón armado visto en las orientaciones este y oeste, que no as- ➤

ESTA OBRA OPTA POR LA OBTENCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN LEED NIVEL ORO

► cienden en una única vertical, sino que van adosándose al intradós del muro curvo, siguiendo el mismo alzado de los muros testers, ajustándose a estos cada dos plantas y alejándose de ellos en plantas intercaladas.

Para dar soporte a los tramos más desfavorables (con más metros de hueco debajo) de estas losas macizas “paralelas” a los muros curvos, que vuelan de forjado a forjado, se proyectaron sistemas de apuntalamiento especiales, e incluso plataformas provisionales jabalconadas a los muros curvos, a la vez que ancladas a estos mismos muros a cota superior.

Para todo el sistema constructivo del edificio vertical se han necesitado unos medios auxiliares singulares, similares a los utilizados en obra civil.

Medios auxiliares. Para el núcleo central se ha optado por un encofrado autotrepante, que permite su ejecución avanzada e independiente del resto del

edificio. A diferencia de los encofrados trepantes convencionales, en los que la operación se hace por paneles o caras, los autotrepantes elevan el encofrado autónomamente (incorporando equipos hidráulicos), por lo que solo necesitan grúas para su primer montaje, elevándose toda la planta de una vez. Con el diseño de consolas y anclajes más robustos, también aumenta la superficie a encofrar, de aproximadamente 30 m² en un trepante convencional a 60 m² en un autotrepante, y la posibilidad de elevar otros medios auxiliares como el distribuidor de hormigón.

Como en todo encofrado trepante, el elemento estructural de mayor responsabilidad es el anclaje que sostiene la consola —un fallo en el mismo provocaría el colapso inmediato de la estructura, por estar isostáticamente apoyada—. El cálculo del anclaje determina la resistencia mínima necesaria del hormigón para poder trepar el equipo y apoyarlo en el tramo recién

hormigonado. Para este cálculo, se considera hormigón no fisurado (estructura permanente a compresión) y no se tiene en cuenta la influencia favorable de la armadura pasiva.

Para optimizar los tiempos de espera, es habitual diseñar estos equipos para permitir el trepado con una resistencia mínima del hormigón de 10 MPa, lo que, aproximadamente, equivale a 24 horas de espera, dependiendo del tipo de hormigón y de la temperatura ambiente. Así se han conseguido ciclos de trepado de una semana por planta, teniendo en cuenta la complejidad de armado de este tipo de estructuras. Con esta configuración se consiguió ir avanzando en el núcleo central con independencia del avance de los muros curvos y de los forjados.

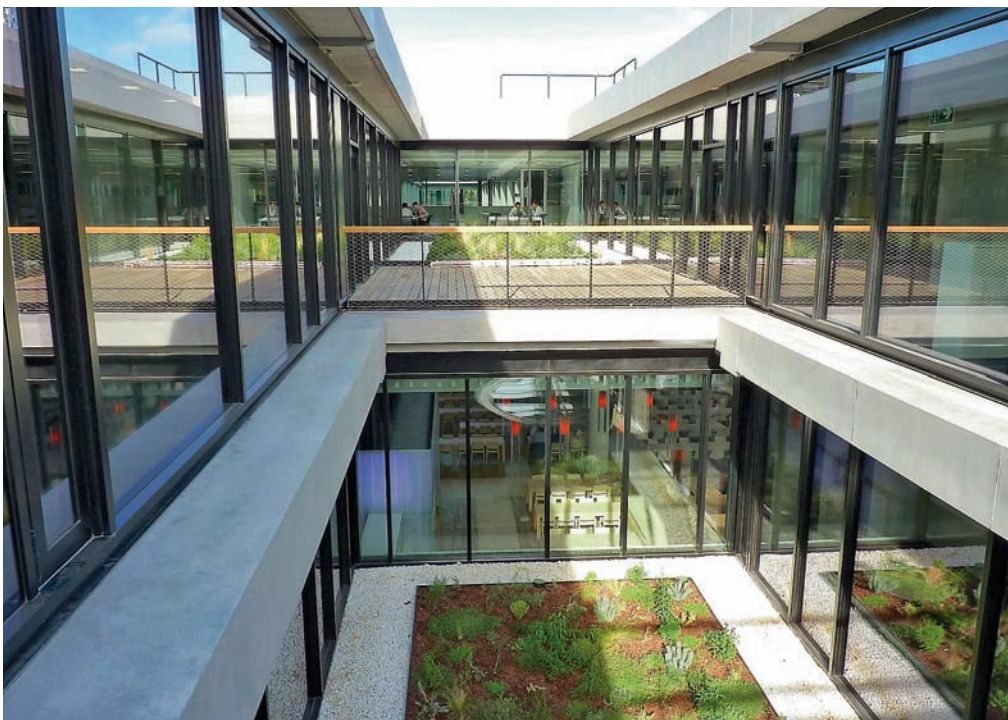
Cimbra cuajada y encofrado trepante para muro perimetral curvo.

Para la ejecución de los muros curvos laterales, que envuelven al edificio

ACABADOS FASE I

Calles interiores de la Fase I ya terminadas. A la derecha, fachada norte y acceso principal, donde se observan las lamas de fachada.





**RESULTADO
FINAL FASE I**

Patio interior de la Fase I, una vez terminada.

hasta planta 2ª y la cubierta desde planta 19ª, se empleó una cimbra cuajada a base de andamio tubular multidireccional, de hasta 20 y 10 m de altura respectivamente, que soportaba un encofrado de geometría variable “tipo puente” para evitar acciones horizontales sobre la misma. A partir de planta 2ª y hasta planta 19ª se dispuso un encofrado trepante anclado en el tramo previamente hormigonado. Los forjados, ejecutados sobre sistemas de encofrado “mecano”, tuvieron un ciclo de trabajo previamente determinado con un estudio completo de cimbrado-descimbrado.

Para cubrir el ancho de 16 m de los muros perimetrales se dispusieron siete “barcos” de encofrado, de aproximadamente 2,15 m de ancho y dos planos de celosías cada uno, que apoyaban sobre cimbra cuajada. El encofrado de forma estaba compuesto por perfiles doble UPN-100, tornapuntas, vigas de madera y superficie encofrante de contrachapado de 21 mm de espesor, con acabado fenólico.

Cuando se hormigonan paramentos inclinados, se debe considerar úni-

camente la componente del peso de hormigón perpendicular al paramento encofrante, mientras que la componente tangencial se transmite a través del muro hasta la base del anillo o cimentación. La componente normal (o radial, en este caso) se descompone, a su vez, en una componente horizontal, a absorber por un anclaje al hormigón de la fase anterior ya hormigonada, y otra vertical, que debe soportar la cimbra cuajada.

Para evitar que la cimbra recibiera acciones horizontales en cabeza debidas al posible rozamiento del encofrado en sus apoyos, se recomendó que estos fueran deslizantes por lo que, incluso, se untaron con grasa. A estas acciones del peso propio del hormigón hubo que añadir, durante el hormigonado, la presión del hormigón fresco según normativa (DIN 18218 u otras). Esta presión fue absorbida por tirantes tipo Dywidag Ø 15 mm que referenciaban ambas caras encofrantes: la interior y la exterior.

Desde la planta 2ª (0,957 m de espesor del muro curvo) hasta la planta 19ª (0,37 m de espesor), se utilizó un encofrado trepante formado por siete ➤

Ficha técnica

NUEVA SEDE BBVA, MADRID

PROMOTOR

Gran Jorge Juan, SA.

PROYECTO/PROYECTISTA

Herzog & de Meuron, SL

DIRECCIÓN DE LA OBRA

Enrique de León García e Iñigo Ortiz Díez de Tortosa (Arquitectos)

DIRECCIÓN DE EJECUCIÓN DE LA OBRA

Vicente Rubio Alonso (Arquitecto Técnico)

DIRECCIÓN FACULTATIVA ESTRUCTURAS:

Damián Terrasa Díaz (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos)

Ines Ingenieros Consultores

Instalaciones: JG Ingenieros

COORDINACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN FASE DE PROYECTO Y EJECUCIÓN

Gema Sanz Bodega (Ingeniero Técnico Industrial)

Jose María Ruiz Carpintero (Arquitecto Técnico)

María Cristina Ríos Montes (Ingeniero Industrial)

PROJECT MANAGEMENT:

Hill

EMPRESAS CONSTRUCTORAS:

Secin, SL (Ejecución de estructuras Fase I)

Editec (Obra civil Fase I)

Martifer, SA (Fachada Fase I)

Geocisa (Contención Fase II)

Acciona Infraestructuras, SA (Fase II)

Thyssen (Ascensores)

JEFES DE OBRA:

Alberto Ruiz Villas (Arquitecto)

Manuel Fernández (Aparejador)

SUPERFICIE

190.562,13 m².

FECHA DE INICIO

2 de diciembre de 2011 (Fase II)

PRINCIPALES EMPRESAS COLABORADORAS:

ESTRUCTURA: Valles y Rezola y Siurell

ENCOFRADOS: Peri, SAU, y Encofrados J. Alsina, SA

FACHADAS: Permasteelisa

MICROHORMIGÓN: Betazul

➤ siete módulos de tres consolas fijas o sin retranqueo, ya que las labores de limpieza y ferrallado se realizaron por el interior. Como la mayoría de los sistemas de trepa convencionales, todos los módulos constaban de cuatro niveles de plataforma: plataforma superior de vela (o de hormigonado), plataforma inferior de vela, plataforma intermedia (o principal) y plataforma inferior (o de recogida de anclajes).

Para facilitar las labores de encofrado y desencofrado, los tapes exteriores estaban articulados a los módulos extremos (norte y sur) con tornapuntas y un tornillo sin fin para regulación horizontal. Estos tapes iban referenciados con tirantes (barras tipo Dywidag) para contrarrestar las presiones de hormigonado. El diseño de los mismos se ha reducido estructuralmente al mínimo posible para evitar su sobrepeso y facilitar su uso. En los tapes se empleó superficie encofrante de chapa metálica de 4 mm de espesor para soportar, sin necesidad de desmontaje, todas las puestas de ancho variable y para conseguir una superficie de hormigón lisa de forjado a forjado acorde con los requerimientos estéticos fijados por los arquitectos. Debido a la inclinación variable del encofrado trepante, para su izado se añadió una estructura auxiliar en celosía (balancín de equilibrado). Para encofrar el interior (visto) de los 16 m de ancho de estos muros curvos, se diseñaron tres módulos de encofrado con capacidad de curvar la superficie encofrante.

Para absorber las presiones del hormigón fresco, las caras de encofrado exterior e interior estaban referenciadas con tirantes tipo Dywidag Ø 15 mm, dispuestos longitudinalmente cada 1,17 m, según exigencias arquitectónicas. Al tratarse de hormigón visto, la distribución impuesta de las juntas de fenólico, así como la posición prefijada por arquitectura de los tirantes y de los tornillos de clavado de la superficie encofrante a las vigas de madera, supuso un sobredimensionamiento del material respecto del estrictamente necesario, que dificultó el conocimiento del recorrido de las cargas y elevó su peso de forma considerable.

Cuando el hormigón gravitaba hacia el exterior del edificio, es decir, hasta aproximadamente la planta 7ª, el equipo trepante funcionaba como una cimbra, mientras que cuando el hormigón gravitaba hacia el interior, el equipo trepante funciona como una plataforma de trabajo en altura. En el primer caso, la resultante global de fuerzas está dirigida hacia el exterior y en el segundo caso, hacia el interior del edificio, por lo que el encofrado que se dispone en el interior es una especie de cimbra (encofrado en celosía) que debió ser anclada a los forjados.

Para comprobar el encofrado y la cimbra se analizaron las siguientes hipótesis de carga en el orden en el que se presentaban dentro de cada ciclo de trabajo: izado; estructura auxiliar en servicio durante operaciones de construcción; estructura auxiliar en servicio durante el vertido del hormigón fresco; estructura auxiliar en servicio sosteniendo el hormigón y una vez desencofrada la cara que no soporta el peso de este (hormigón endurecido, pero con resistencia insuficiente para sostenerse por sí mismo); y estructura

auxiliar fuera de servicio con viento máximo. Con estos modelos de cálculo se obtuvieron todos los esfuerzos y deformaciones esperados en cada elemento, así como las reacciones en los anclajes. Asimismo, se determinó que la resistencia necesaria del hormigón del muro para iniciar el trepado debía ser de 12 MPa, mientras que la resistencia necesaria para hormigonar el siguiente tramo debía ascender a 23 MPa.

Cimbra cuajada. A partir de la planta 19ª, el edificio La Vela se corona mediante una bóveda de 16 m de ancho, 45 m de longitud en planta y unos 12 m de altura máxima, que se puede asemejar, a gran escala, a las bóvedas realizadas en obra civil.

Se estudió a partir de qué punto no era necesario utilizar encofrado exterior, atendiendo principalmente al ángulo del talud natural (o de rozamiento interno) del hormigón fresco, φ . Mientras dura la vibración, y en la zona afectada por ella, el hormigón se comporta aproximadamente como un líquido ($\varphi=0^\circ$) produciendo presiones hidrostáticas. Sin embargo, fuera de la zona afectada



**URBE DENTRO
DE LA CIUDAD**

Calle interior de
finger del edificio
horizontal.

por la vibración, el hormigón fresco se comporta como un árido sin cohesión (material granular), con un ángulo de rozamiento interno fijado habitualmente en $\phi=30^\circ$. Ese ángulo del talud natural del hormigón fresco marcó la inclinación límite más allá de la cual no podía mantenerse el equilibrio y hubo que realizar un contraencofrado.

Como en las fases inferiores, la resultante global de fuerzas fue radial y hacia el interior del edificio, por lo que hubo que disponer anclajes en los forjados para contrarrestar las acciones horizontales y evitar así que estas fueran soportadas por la cimbra cuajada.

Otros condicionantes. Uno de los principales desafíos de esta obra era el construir la estructura arquitectónica con las limitaciones logísticas (acopios,

movilidad de maquinarias, etc.) que el emplazamiento urbano de esta nueva “urbe dentro de la ciudad” obligaba, combinadas con un plazo muy limitado y con el hecho de que la sede se fue poniendo en funcionamiento por fases. La solución a estos problemas vino dada por el diseño de multitud de estructuras auxiliares específicamente concebidas para esta obra, el proyecto de apuntalamientos o cimbrados especiales y la utilización de hormigones con dosificaciones que aseguraban la adquisición de resistencia en muy corto plazo. Fue así como en esta obra hubo cimbras con pasos para maquinarias y/o peatones, sobre plataformas metálicas ancladas a muros y en altura, curvas en planta o en alzado; encofrados trepantes y autotrepantes; aparejos para tesados en altura; sistemas de empalme de postesados di-

ANTES Y DESPUÉS DE CADA HORMIGONADO SE REALIZABA UNA MEDICIÓN TOPOGRÁFICA DE DEFORMACIONES

señados ad hoc y un largo etcétera de soluciones que requirieron, al mismo tiempo, grandes esfuerzos de ingeniería y respuestas a muy corto plazo.

Gracias al trabajo del laboratorio de ensayos de probetas y de los equipos de topografía, que nutrían de datos

a la Dirección Facultativa para tomar las decisiones oportunas, se consiguieron logros particulares como postesar en 48 horas, desapuntalar y reapuntalar en 72 y ejecutar un forjado postesado sobre otro tan solo una semana después del primero. Dichos logros redundaron en el éxito general, que permitió alcanzar ratios de productividad muy elevados para edificación urbana: vertidos de hormigón de casi 400 m³/día, ejecución de forjados de 1.000 m²/día, ritmos de obra en La Vela de nueve días naturales por ciclo de forjado sobre forjado o de tramo de muro curvo, etc. Dichos ratios se alcanzaron en un contexto de mínimo impacto medioambiental. Tal es así que esta obra opta por la obtención de la certificación LEED nivel Oro. ■

**La construcción cambia el mundo.
¡Nosotros cambiamos el mundo de la construcción!**



Encofrados, cimbras, entibación y geotecnia

ISCHEBECK IBÉRICA S.L.

Pol.Ind. El Oliveral, C/S parcela N° 25
ES-46394 RIBARROJA DEL TURIA (Valencia)

TEL: +34-96-166-6043
FAX: +34-96-166-6162

ischebeck@ischebeck.es
www.ischebeck.es

